

Чибрик Т. С., Батурин Г. И.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. М. ГОРЬКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Чибрик Т. С., Батулин Г. И.

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ
НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ
ЗЕМЕЛЬ**

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2003

УДК 502.654+504.53.062.4
Ч582

Чибрик Т. С., Батулин Г. И.
Ч582 Биологическая рекультивация нарушенных промышленностью земель. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 36 с.

УДК 502.654+504.53.062.4

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Разработка способов биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель	8
Агротехника посева	10
Ассортимент растений и агротехнические приемы создания растительного покрова на отвалах	10
Оценка перспективы использования растений с нарушенных промышленностью земель с учетом содержания в них тяжелых металлов	13
Заключение	24
Список литературы	25
<i>Приложение</i>	
Апробация полученных результатов	26
Возможности внедрения полученных результатов	26
Подготовка специалистов-экологов по основам биологической рекультивации	27
Иллюстрации	28

ВВЕДЕНИЕ

Современные темпы разработки полезных ископаемых, промышленного и гражданского строительства, деятельность перерабатывающих комбинатов и т. п. нередко приходят в противоречие с проблемой сохранения земли и охраны природы. Вокруг городов с развитой промышленностью образуются «индустриальные пустыни», горы отвалов пустой породы, которые занимают огромные площади и негативно влияют на жизненную среду человека. Интенсификация производства зачастую приводит к нарушению ценных сельскохозяйственных и лесных угодий. Особенно велик вред при открытых разработках полезных ископаемых – угля, руд черных и цветных металлов, строительных материалов и др. Только в Свердловской области площади открытых разработок составляют около 60 тыс. га. При активном развитии горнодобывающей промышленности в эксплуатацию вовлекается все большее число месторождений полезных ископаемых, увеличиваются мощности горных предприятий и глубины разработок.

В этих условиях возникает важная задача сохранить земельный фонд и предотвратить нарушение сложившегося в течение тысячелетий природного комплекса не только непосредственно в местах производства горных работ, но и на значительных прилегающих территориях. Это особенно важно для районов с развитым сельским хозяйством, а также для вновь осваиваемых районов в целях сохранения сельскохозяйственных угодий, отчуждаемых для использования промышленными предприятиями.

Для восстановления нарушенных площадей и предотвращения вредного влияния их на природную среду проводится рекультивация земель, которая складывается из комплекса горно-технических и биологических мероприятий, имеющих целью создание и ускоренное формирование на площадях, испытавших техногенное воздействие, оптимальных культурных ландшафтов с продуктивным

покровом. В процессе рекультивации всегда учитывается мотивированное формирование ландшафта и создание определенной природной среды. При этом не всегда ставится задача восстановления первоначального состояния природной обстановки и видов земельных угодий, но обычно достигается гармоничное разрешение многих вопросов экологического и социального порядка.

Конечной целью биологической рекультивации является создание на поверхности отвалов продуктивных биогеоценозов преимущественно сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения или озеленение с целью санитарно-гигиенического оздоровления и создания зон отдыха.

Работы по рекультивации отвалов актуальны и полностью соответствуют задачам охраны природы и улучшения санитарного состояния населенных пунктов.

На Урале работы по рекультивации нарушенных промышленностью земель были начаты в 1959–1961 годах, когда по инициативе и под руководством доктора биологических наук В. В. Тарчевского в Уральском государственном университете была создана хозрасчетная лаборатория промышленной ботаники – специальное учреждение, сосредоточившее внимание на изучении методов фитомелиорации промышленных отвалов.

Объектом исследования лаборатории являются трудные для озеленения пылящие и зачастую токсичные массивы отвалов перерабатывающей промышленности, находящиеся на Урале и в Сибири. Это зола тепловых электростанций, красный шлам алюминиевого производства, «хвосты» обогатительных фабрик. За годы работы лаборатории было обследовано 35 тыс. га нарушенных промышленностью земель. Рекомендации лаборатории эффективно использовались при биологической рекультивации около 2 тыс. га нарушенных земель, а научные труды сотрудников – при составлении ряда нормативных документов. Они неоднократно были представлены на ВДНХ СССР. Научные издания (более 600 публикаций и 14 тематических сборников статей) хорошо известны широкому кругу специалистов в России и за рубежом. Коллектив лаборатории на протяжении многих лет принимает участие в подготовке высококвалифицированных специалистов, успешно работающих в области рекультивации и охраны природы.

Теоретические и практические разработки в большинстве случаев уникальны, так как касаются неизученных, очень трудных для рекультивации объектов, оказывающих чрезвычайно вредное воздействие на окружающую природную среду (золоотвалы ТЭЦ, шламохранилища после переработки железной руды и руд цветных металлов, нарушенные земли предприятий химической, машиностроительной промышленности и др.). Работы были проведены на разнотипных отвалах и в разных зональных условиях. Решение обозначенной проблемы важно для промышленного Урала как с теоретической, так и с практической стороны.

В проведении исследований по проблеме биологической рекультивации ясно выделяются два этапа. На первом этапе (с 1959 до конца 1970-х годов) по хозяйственным договорам с промышленными предприятиями разрабатывались способы биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Результатом исследований были рекомендации, которые использовались при составлении проектов и практическом проведении биологической рекультивации. Как правило, учет конкретных экологических условий позволял значительно удешевить проектные и практические работы по биологической рекультивации изученных техногенных образований и даже выделить группу площадей, не требующих биологической рекультивации. Это старые отвалы с хорошим восстановлением растительного и почвенного покровов.

Исследования проводились на Урале на следующих техногенных образованиях:

1. Нарушенные земли горнодобывающей промышленности:

- промышленные отвалы, образованные при добыче железной руды;

- промышленные отвалы, образованные при добыче медной руды;

- промышленные отвалы, образованные при добыче угля;

- глубокий (до 500 м) угольный разрез.

2. Нарушенные земли предприятий перерабатывающей промышленности:

- золоотвалы (шлакоотвалы) тепловых электростанций, работающих на высокосольных углях;

– шламохранилища после обогащения железной руды и руд цветных металлов;

– отвалы отходов литейного производства.

Для указанных образований изучены их характеристики, дан прогноз естественного восстановления почвенного и растительного покровов, рекомендованы способы биологической рекультивации и ее возможные направления, определено содержание тяжелых металлов в системе «субстрат – растение» (с целью контроля качества получаемой фитомассы).

На втором этапе, с начала 1980-х годов, развернулись фундаментальные исследования по разработке экологических (теоретических) основ биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Изучаются состав и структура фитоценозов, возникших в процессе самозарастания. Определяются основные направления трансформации культурфитоценозов, экспериментальных посевов и посадок, созданных для проверки разработанных рекомендаций по биологической рекультивации определенных техногенных образований. Большое внимание уделяется выявлению процессов восстановления фиторазнообразия на различных типах нарушенных земель, в том числе на золоотвалах тепловых электростанций и нарушенных землях открытых угольных разработок. При проведении исследований важное значение придается оценке перспектив использования растений с нарушенных промышленностью земель с учетом содержания в них тяжелых металлов. В этот период лаборатория была переименована в Проблемную лабораторию биологической рекультивации (тел. (3432) 61-74-95, 50-74-11; E-mail: Tamara.Chibrik@usu.ru).

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ

Несмотря на разнотипность отвалов, различия в водно-физических и химических свойствах, структуре субстратов и т. п., им всем присущи общие черты: неблагоприятные водно-физические свойства, бесструктурность, отсутствие азота, недостаточное для растений количество фосфора, калия. Все это требует специальных мероприятий по улучшению свойств субстратов как среды обитания растений.

На всех типах изученных отвалов на базе стационарных опытных посевов и посадок лабораторией получены положительные результаты по их биологической рекультивации, разработаны необходимые рекомендации.

Из 200 видов многолетних и однолетних травянистых и древесных растений отобрано около 30 наиболее стойких и перспективных, которые рекомендуются для посевов и посадок на отвалах. В числе их хозяйственно ценные растения: люцерна синегибридная, эспарцет песчаный, клевера белый и луговой и др.

Созданная в первые годы работы лаборатории методика фитомелиорации отвалов перерабатывающей промышленности в своей основе, но с различными модификациями, была принята и для биологической рекультивации породных отвалов – отвалов горнодобывающей промышленности.

Горно-технический этап рекультивации включает в себя работы по планировке поверхности отвалов (созданию рельефа), нанесению плодородного или потенциально плодородного слоя, внесению основного минерального удобрения.

Биологический этап рекультивации включает в себя посев многолетних трав, посадку древесных и кустарниковых видов, уход за ними.

В ходе длительных исследований была доказана возможность улучшения свойств субстратов с помощью различных приемов. Исходя из местных особенностей расположения отвалов возможны следующие основные приемы обогащения их поверхности необходимыми для роста и развития растений питательными веществами.

1. Прием «землевания» – нанесение на поверхность отвалов почвы, торфа или потенциально плодородного грунта, толщина слоя которых может колебаться от 2–4 см (на золоотвалах) до 20–50 см и более (на породных отвалах).

При землевании поверхность отвалов может покрываться как равномерно по всей площади, так и полосами, причем полосы с покрытием шириной 6–10 м каждая чередуются с такими же по размеру полосами без покрытия. Оба типа полос располагаются поперек господствующего направления ветров. Полосы с покрытием засеваются многолетними травами, также практикуются посадки деревьев и кустарников. Такой способ покрытия дает экономии как посевного и посадочного материала, так и наносимого покрытия.

2. Внесение полного минерального удобрения (NPK) с учетом имеющегося содержания питательных веществ в субстрате, слагающем отвал, которое делится на два этапа: осенью вносятся фосфорные и калийные удобрения из расчета 60–90 кг действующего начала на гектар; весной вносятся азотные удобрения – 90–120 кг/га из расчета 30–45 кг действующего начала на гектар.

Ежегодная подкормка посевов способствует лучшему развитию культур и скорейшему задернению отвалов.

3. Полив поверхности отвалов, в частности золоотвалов, в течение вегетационного периода сточными водами (после прохождения их через очистные сооружения). Полив следует проводить как до посева, так и после, начиная с 10-го дня после посева, в течение всего вегетационного периода (с мая по сентябрь) из расчета 200–500 м³/га за один раз, согласуя его с фазами развития растений. Состав применяемых сточных вод должен соответствовать нормам санитарно-эпидемиологической службы по содержанию вредных веществ.

Агротехника посева

Предпосевная обработка подготовленных площадей в зависимости от вида освоения, свойств субстрата может включать как безотвальную вспашку с почвоуглубителем, так и дискование или боронование тяжелыми боронами в 2–4 следа.

Подготовка семян. Семена злаковых трав не требуют предварительной обработки, но для улучшения всхожести их можно подвергнуть воздушно-тепловому обогреву.

Семена бобовых по правилам следует подвергать скарификации. Но, как показал наш опыт, при посеве на отвалах этот прием можно не проводить, т. к. семена, не проросшие в первый год, пополняют количество растений в последующие годы. Хорошие результаты дает обработка семян бобовых бактериальными удобрениями, в частности нитрагином, из расчета 1 кг (2 бутылки) на рекомендуемую гектарную норму высева семян.

Сроки посева. Посев семян проводится или рано весной – с 25 апреля до 15 мая, или летом – с 20 июля по 10 августа, т. е. в период выпадения осадков.

Посев семян можно проводить как ручную, так и механизированным способом с использованием зерно-травяной (СЗТ-47) или овощной (СОН-2,8) сеялки с последующим боронованием и прикатыванием гладким катком.

Глубина заделки семян. Мелкие семена заделываются на глубину 1–2 см, крупные – 3–4 см.

Ассортимент растений и агротехнические приемы создания растительного покрова на отвалах

Чтобы получить на отвалах травяной покров санитарно-гигиенического назначения, следует использовать виды многолетних растений, способные быстро формировать дернину и прекращать дефляцию субстратов. К таким видам из злаков относятся: овсяница красная, мятлик луговой, кострец безостый, полевица белая. Из бобовых целесообразно вводить донники белый и желтый –

двулетние растения, обладающие хорошим семенным возобновлением. При создании травяного покрова хозяйственного значения включаются высокопродуктивные кормовые культуры: кострец безостый, овсяница луговая, житняк гребенчатый, регнерия омская, люцерна синегибридная, эспарцет песчаный и др. (табл. 1).

Таблица 1

Ассортимент многолетних травянистых растений

Название растений*	Обычная полевая норма высева семян, кг/га
<i>Злаковые</i>	
Ежа сборная	12–15
Житняк гребенчатый	10–12
Кострец безостый	20–25
Овсяница красная	12–15
Овсяница луговая	12–15
Пырей бескорневищный	20–25
Пырей ползучий	10–15
Райграс пастбищный	15–25
Регнерия волокнистая	12–15
Тимофеевка луговая	8–12
<i>Бобовые</i>	
Донник белый двухлетний	15–20
Донник желтый двухлетний	15–20
Клевер красный	12–16
Клевер белый	8–10
Люцерна желтая	10–15
Люцерна синегибридная	10–15
Люпин многолетний	30–40
Эспарцет песчаный	70–80

* В ассортимент включены только те растения, которые дали положительный результат на ряде отвалов.

Норма высева семян. Для фитомелиорации отвалов норму высева семян многолетних трав следует увеличивать в 2–4 раза по сравнению с обычной полевой в связи с неблагоприятными водно-физическими и агрохимическими свойствами субстратов отвалов. Кроме того, норма высева семян должна устанавливаться с учетом хозяйственной годности семян.

Для создания на отвалах декоративных пятен пригодны однолетние цветочные культуры: люпин однолетний, космея, ноготки, циния, василек синий, ленок, мак и др.

Одновременно с посевом многолетних трав следует проводить посадку деревьев и кустарников, формируя из них защитные полосы или небольшие «колки», что будет способствовать накоплению снега, уменьшению водной и ветровой эрозии поверхности отвалов. Для этого рекомендуются следующие деревья и кустарники: тополь бальзамический, яблоня мелкоплодная, осина, береза бородавчатая, береза пушистая, ива козья, ива пятитычинковая и др., сосна обыкновенная, карагана желтая, шиповник коричный, раkitник русский, малина лесная, облепиха, смородина золотистая, клен американский, лох узколистный и др. Возможно создание крупноплощадных культурдендроценозов. Посадку древесных и кустарниковых видов на отвалах, как правило, проводят в ямки или траншеи с внесением плодородной почвы.

Культурфитоценозы, формируемые на отвалах путем посева многолетних трав, уже на третий год жизни дают прочную дернину, сомкнутый травостой и пригодны для сенокошения. Урожайность сена колеблется от 10,5 до 26,0 ц/га (злаки); от 20,0 до 45,5 ц/га (бобовые).

В настоящее время сотрудниками лаборатории обследовано и рекогносцировочно изучено около 35 тыс. га отвалов, из которых более 2 тыс. га, на базе экспериментальных и производственных посевов по рекомендации лаборатории, рекультивированы и используются как сенокосные угодья.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТЕНИЙ С НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ С УЧЕТОМ СОДЕРЖАНИЯ В НИХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Одним из важных аспектов биологической рекультивации является изучение пригодности нарушенных земель для сельского и лесного хозяйства, для озеленения санитарно-гигиенического типа и др. Это указывает на необходимость изучения химического состава растений в техногенных ландшафтах вообще и на послепромышленных отвалах в частности.

Среди многочисленных загрязнителей особое место занимают тяжелые металлы. К ним условно относят химические элементы с атомной массой свыше 50, обладающие свойствами металлов или металлоидов. Считается, что среди элементов тяжелые металлы являются наиболее токсичными для живых организмов. Согласно классификации Дж. Вуда, к очень токсичным отнесены следующие химические элементы (большинство из них тяжелые металлы): Be, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Te, Rb, Ag, Cd, Au, Hg, Pb, Sb, Bi, Pt. Может показаться странным, что к этой группе отнесены Mn, Zn, Cu, Co, Mo, известные как микроэлементы, большая физиологическая значимость которых в процессах метаболизма научно доказана и которые широко используются в практике сельского хозяйства и медицине. Однако все дело в концентрации химического элемента в среде обитания: при дефиците его содержания для живых организмов он рассматривается как микроэлемент, при избытке – как тяжелый металл.

Избыточное содержание любого химического элемента в среде обитания или в пище – нежелательный факт, поэтому будет правильнее говорить не о токсичных элементах, а о токсичных концентрациях. Уместно напомнить мнение А. П. Виноградова

о безусловной необходимости для живых организмов всех без исключения химических элементов (см.: *Виноградов А. П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555–571).

Исследования показали, что микроколичества многих элементов не являются примесями, а играют важную физиологическую роль в нормальной жизнедеятельности организмов. Недостаток или избыток их в среде обитания организма приводит к различным заболеваниям. Дефицит и избыток микроэлементов в пище животных и человека также нежелателен.

Вследствие малого опыта в проведении рекультивации нарушенных земель, этот вопрос стоит очень остро. Рекультивация предполагает не только увеличение площади сельскохозяйственных и лесных угодий за счет нарушенных земель. Она включает «комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды» (ГОСТ 17.5.1.01–78).

Процесс рекультивации предусматривает в конечном счете создание устойчивых, продуктивных, хозяйственно и социально ценных биогеоценозов. Успех ее зависит от возможно полного и правильного учета экологических условий.

Одним из ключевых вопросов биологической рекультивации является взаимосвязь почвы и растений. При добыче полезных ископаемых с помощью техники видоизменяются природные ландшафты. Часто в результате перемещения геологических пластов на поверхности оказываются глубинные породы, которые отличаются по химическому составу, в том числе и по содержанию микроэлементов, от зональных почв. Таким образом, растения, поселяющиеся на этих породах, попадают в измененные для своей жизнедеятельности эдафические условия. Растения, выросшие на таких обогащенных тем или иным элементом породах, могут содержать его в повышенных концентрациях, токсичных для животных, а при включении в пищевые цепи – и для человека.

В качестве примера приведем анализ содержания тяжелых металлов в субстрате Коркинского угольного разреза и отвалов двух железорудных месторождений (табл. 2).

Таблица 2

*Обобщенная характеристика микроэлементного состава
субстрата Коркинского угольного разреза и отвалов Новокиевского
и Аккермановского железорудных месторождений*

Эле- мент	Средняя концентра- ция в глинистых породах по А. П. Виногра- дову, %	Относительное содержание в породах		
		Коркинский разрез	Месторождения	
			Новокиевское	Аkkerмановское
Mn	0,0670	< в 2 раза	< в 2 раза	> в 5 раз
Co	0,0020	> в 1,5–3,0 раза	Норма	> в 25 раз
V	0,0130	Норма	< в 3 раза	Норма
Ti	0,4500	Норма	< в 4,5 раза	Норма
Ni	0,0095	> в 1,5–2,5 раза	> в 3–42 раза	
Cr	0,0100	Норма – > в 2,5 раза	> в 5–20 раз	
Zr	0,0200	< в 3 раза	< в 2–10 раз	
Mo	0,0002	< в 2–3 раза – норма	Норма – < в 5 раз	
Cu	0,0057	> в 3–5 раза	Норма – > в 10 раз	
Zn	0,0080	> в 1,2–1,4 раза	Норма	
Pb	0,0020	> в 1,5 раза	Норма	
Sn	0,0010	< в 2–3 раза	Не определяется	
Be	–	< в 2–6 раз	< в 2–6 раз	
Ba	0,0760	Норма – > в 1,4 раза	Норма	
Sr	0,0450	< в 3 раза	< в 1,5 раза	
Sc	0,0010	> в 2–3 раза	> в 6,5 раза	
Ga	0,0030	< в 1,5–2 раза	> в 1,5–3 раза	
Y	0,0030	< в 2,5–5 раз	< в 5 раз	

Породы разреза по средней концентрации наиболее близки к глинистым породам (по А. П. Виноградову). Для них характерно наиболее высокое относительное содержание Cu, Sc, в некоторых породах также Cr, Ni, Co, выше в 1,2–1,5 раза концентрация Zn и Pb. В породах разреза более чем в два раза ниже относительное содержание Mn, Zr, Mo, Sn, Be, Sr, Y по сравнению со средним содержанием их в глинистых породах. Еще более высокая обогащенность тяжелыми металлами характерна для отвалов рудных месторождений (см. табл. 2).

Знание химического состава растений необходимо при изучении целого ряда биологических проблем. Во-первых, растительность является одним из факторов почвообразовательного процесса и своим составом оказывает влияние на характер почвенного покрова. Во-вторых, это важно для выяснения вопроса, каким образом возможно использование этих растений в хозяйственных целях.

Анализ содержания тяжелых металлов в растениях Коркинского угольного разреза был проведен по двум направлениям (табл. 3). С одной стороны, определено среднее содержание тяжелых металлов в надземной массе растений по ботаническим группам, когда анализировались отдельно бобовые, злаки и сложноцветные. С другой – с целью изучения накопительной способности растений разными частями изучалось содержание тяжелых металлов в корневых системах вышеназванных групп растений. Коркинский разрез находится в лесостепной зоне. Для сравнительного анализа приведены литературные данные содержания элементов в надземной массе растений для тайги и средние для континентов (по А. П. Виноградову). Хотя подобное сравнение не очень корректно, все же мы его использовали, не имея в данный момент других «исходных» данных.

Таблица 3

*Среднее содержание тяжелых металлов
в надземной массе* и корневой системе** растений Коркинского
угольного разреза по ботаническим группам, $n \cdot 10^{-3} \%$*

Элемент	Бобовые	Злаки	Сложноцветные	Содержание элементов в надземной массе растений (по А. П. Виноградову)	
				тайги	континентов
Ni	7,00	8,00	9,00	1,0	5,0
	10,00	27,00	19,00	–	–
Co	24,00	16,00	39,00	0,2	1,5
	1,20	7,00	3,00	–	–
Cr	8,00	9,00	8,00	5,0	200
	9,00	18,00	10,00	–	–

Окончание табл. 3

Элемент	Бобовые	Злаки	Сложноцветные	Содержание элементов в надземной массе растений (по А. П. Виноградову)	
				тайги	континентов
Mn	62,00	82,00	76,00	100	750
	105,00	154,00	134,00	—	—
V	7,00	7,00	7,00	1,0	6,1
	13,00	20,00	13,00	—	—
Ti	363,00	282,00	342,00	5,0	100
	255,00	347,00	280,00	—	—
Cu	11,0	11,00	11,00	10	20
	8,00	12,00	11,00	—	—
Zn	7,00	19,00	17,00	20	20
	12,00	26,00	20,00	—	—
Pb	22,00	28,00	21,00	0,7	—
	2,70	4,30	2,90	—	—
Ag	18,00	33,00	18,00	0,02	1,0
	0,04	0,07	0,09	—	—
Mo	46,00	10,00	9,00	0,4	2,0
	1,00	0,40	1,00	—	—
Ba	45,00	37,00	40,00	700	n · 10
	42,00	50,00	45,00	—	—
Sr	24,00	19,00	23,00	200	30
	27,00	17,00	36,00	—	—
Sn	38,00	50,00	35,00	следы	0,5
	0,25	0,49	0,25	—	—
Be	8,00	5,00	16,00	не обн.	0,2
	0,12	0,19	0,12	—	—
Zr	5,00	7,00	4,00	—	n · 0,1
	9,00	12,00	10,00	—	—

* В числителе

** В знаменателе

Сравнение показало очень большое превышение содержания тяжелых металлов в надземной массе, а также превышение содержания Co, Ti, Pb, Ag, Mo, Sn, Be, Zr, V на два порядка и более по сравнению с соответствующими данными по тайге и средним содержанием по континентам. Содержание Mn, Zn, Ba, Sr – ниже «исходного» их значения по тайге и континентам. Анализ содержания тяжелых металлов в разных частях растений показал, что в корнях более высокое содержание Ni, Cr, Mn, V, Zn, Zr, а в надземной массе – Co, Ti, Cu, Pb, Ag, Mo, Sn, Be (см. табл. 3).

Для Ba и Sr соотношение содержания в надземной массе и корнях в разных ботанических группах различно. Так, незначительное превышение Ba в корнях характерно для злаков и сложноцветных, а в надземной массе – для бобовых. По Sr картина несколько иная: выше содержание этого элемента в корнях бобовых и особенно сложноцветных, а для злаков выше содержание Sr в надземной массе. В связи с этим несколько отличаются ряды концентраций микроэлементов в надземной массе и корнях в растениях Коркинского угольного разреза по ботаническим группам.

Определенный интерес представляет анализ накопительной способности тяжелых металлов надземной массой и корнями растений. Эта способность хорошо проявляется при рассмотрении коэффициентов биологического поглощения (КБП) – отношения содержания элемента в растении к его содержанию в субстрате (табл. 4). Энергично накапливаются следующие тяжелые металлы: в надземной массе всех групп растений – Ag, Mo, Sn, Be, в корнях энергично накапливающихся элементов нет. К группе сильно накапливающихся элементов (КБП от 10 до 1) по надземной массе относятся Co, Mn, Cr, Zn, Pb, по корням – Zr, Ag, Mo. Слабо накапливаются (КБП 1–0,1) в корнях и надземной массе растений Ba, Zn, Ti, V.

Проведенный нами анализ, показал что почвогрунты Коркинского угольного разреза характеризуются своеобразным химическим составом. Среднее содержание большинства микроэлементов в почвогрунтах угольного разреза отличается от их среднего содержания в почве. Наибольшие различия наблюдаются у Pb, Co, Mn. Содержание всех элементов сильно варьирует, что определяется пестротой породного состава верхнего слоя.

Таблица 4

*Средние значения коэффициентов биологического поглощения
элементов надземной массой* и корневой системой** растений
Коркинского угольного разреза*

Элемент	Бобовые	Злаки	Сложноцветные
Ni	$\frac{0,80}{1,20}$	$\frac{0,93}{3,24}$	$\frac{1,05}{2,25}$
Co	$\frac{5,60}{0,25}$	$\frac{3,70}{1,47}$	$\frac{9,10}{0,66}$
Cr	$\frac{0,55}{0,73}$	$\frac{0,61}{0,67}$	$\frac{0,55}{0,82}$
Mn	$\frac{1,80}{1,99}$	$\frac{2,40}{2,93}$	$\frac{2,20}{2,54}$
V	$\frac{0,30}{0,76}$	$\frac{0,30}{1,18}$	$\frac{0,30}{0,80}$
Ti	$\frac{0,70}{0,46}$	$\frac{0,50}{0,63}$	$\frac{0,60}{0,50}$
Cu	$\frac{0,90}{0,90}$	$\frac{0,90}{1,34}$	$\frac{0,90}{1,18}$
Zn	$\frac{0,50}{0,73}$	$\frac{1,30}{1,52}$	$\frac{1,20}{1,00}$
Pb	$\frac{6,30}{0,73}$	$\frac{8,00}{1,19}$	$\frac{6,00}{0,78}$
Ag	$\frac{900}{2,00}$	$\frac{1650}{3,50}$	$\frac{900}{4,50}$
Mo	$\frac{242}{4,61}$	$\frac{53,0}{1,95}$	$\frac{47,4}{3,28}$
Ba	$\frac{0,60}{0,55}$	$\frac{0,50}{0,66}$	$\frac{0,50}{0,59}$
Sr	$\frac{-}{2,90}$	$\frac{-}{1,83}$	$\frac{-}{3,80}$

Элемент	Бобовые	Злаки	Сложноцветные
Sn	$\frac{76,0}{0,52}$	$\frac{100}{1,02}$	$\frac{70,0}{0,52}$
Be	$\frac{40,0}{0,50}$	$\frac{25,0}{0,79}$	$\frac{80,0}{0,50}$
Zr	$\frac{0,55}{1,02}$	$\frac{0,80}{1,35}$	$\frac{0,40}{1,10}$
Ga	$\frac{-}{0,35}$	$\frac{-}{0,66}$	$\frac{-}{0,38}$
Y	$\frac{-}{1,09}$	$\frac{-}{1,84}$	$\frac{-}{1,48}$

* В числителе

** В знаменателе

Микроэлементный состав надземной биомассы и корней растений резко отличается от этих показателей на зональной почве. Анализ содержания микроэлементов в субстрате и растениях показал, что Ni, Mn, Ag, Mo, Sr, Zr являются элементами биологического накопления. Предварительный анализ химического состава растений позволяет утверждать, что они содержат повышенные концентрации Ni, Cu, Zn, Co, Pb и при попадании в пищевую цепь могут оказывать токсичное воздействие. Результаты анализа еще раз подтверждают необходимость учета содержания тяжелых металлов в субстрате и растениях при проведении работ по рекультивации таких объектов, как глубокие угольные разрезы.

Некоторые проявившиеся тенденции для уточнения их закономерного характера требуют дополнительного исследования и более глубокого анализа.

Содержание тяжелых металлов в системе «субстрат – растение» изучалось на золоотвалах Верхнетагильской и Южноуральской ГРЭС (ВТГРЭС и ЮУГРЭС) в разных по свойствам субстрата местообитаниях. На золоотвале ЮУГРЭС местообитания

отличаются по возрасту (старый и новый золоотвалы) и по свойствам субстрата (зола + почва и зола). На золоотвале ВТГРЭС образцы отбирались на рекультивированном участке на полосах с грунтом и на золе без покрытия (отличие по субстрату). На вторично рекультивированном участке проведена раскорчевка деревьев и кустарников, планировка и добавка органики (торф и др.), т. е. разница по субстрату и в какой-то мере по возрасту.

Есть достаточно данных, что на химический состав растений оказывают влияние климат, химический состав почв и горных пород, видовая принадлежность растений. При этом микроэлементный состав (содержание тяжелых металлов) в большей степени зависит от геохимических особенностей ландшафта. Сравнение среднего содержания тяжелых металлов в субстратах золоотвалов показало, что субстраты содержат примерно одинаковое количество Co, V, Mo, Be и Zr. В субстрате золоотвала ВТГРЭС на 10–25 % выше содержание Ti, Pb, Zn, Sr, Ga, Y и на 35 % – Ag, в 1,9 раза – Cu, в 2,75 раза – Sn. Содержание Ni, Cr, Mn в 1,3–1,5 выше в субстрате золоотвала ЮУГРЭС, по сравнению с золоотвалом ВТГРЭС.

Сравнение содержания тяжелых металлов в субстрате золоотвалов с соответствующими показателями почв Урала свидетельствует о существенном обогащении золы многими тяжелыми металлами по сравнению с почвой. Среднее содержание Co в субстрате описываемых золоотвалов выше в 3,3 раза, Mo, V, Ti, Sr – в 1,5–2 раза. Особенно существенно превышение по Mn (в 8–10 раз), Cu (в 4–7 раз), Zn (в 3–5 раз), Pb (в 7–9 раз), Sn (в 2,8–7,7 раза), Be – более чем в 3 раза (соответственно по золоотвалам лесостепной и лесной зон). В то же время на золоотвалах ниже среднее содержание Y в 1,7 раза, Ga – в 2,5–2,7 раза, Zr почти в 3 раза по сравнению с почвами Урала. Таким образом, субстрат золоотвала по микроэлементному составу существенно отличается от почв Урала.

Зольный субстрат существенно влияет на морфологические признаки растений. Наблюдается явление неотении, ослаблено кущение злаков, уменьшается площадь листовых пластинок и ассимилирующая листовая поверхность растений, изменяются ростовые процессы корневых систем.

Спектральный анализ субстрата золоотвалов, надземной и подземной биомассы растений на 37 элементов показал наличие 19 из них. Нанесение на поверхность золоотвала почвы или потенциально плодородных пород изменяет содержание тяжелых металлов. Независимо от возраста отвалов, рекультивационных мероприятий и зонального положения, содержание Cr, Mn, V, Ag, Sr, Be, Zr, Y превышает их содержание в территориально близких почвах, особенно Cr, Sr, и Zr (более чем в 2 раза). В субстрате золоотвала в лесостепной зоне ниже, по сравнению с окружающими почвами, содержание Ti, Cu, Zn, Pb, Sn. Содержание остальных элементов (Ni, Co, Mo, Ba, P) зависит от возраста, рекультивационных мероприятий и зонального положения отвалов.

Исследование КБП надземной массой и корнями растений с золоотвала позволило выделить две группы тяжелых металлов: сильнонакопляемые (КБП = 10–1) – Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr; слабонакопляемые (КБП = 1–0,1) – Co, Sr, V, Ti, Be, Zr, Ga, Y (табл. 5). На общем фоне достаточно сходных по содержанию тяжелых металлов золоотвалов выявлено влияние видоспецифичности формирующихся фитоценозов. В частности, Cu на золоотвале

Таблица 5

Накопительная способность тяжелых металлов растениями, произрастающими на золоотвалах

Объект	Биомасса растений	Коэффициенты биологического поглощения		
		более 10	10–1	1–0,1
Золоотвал ЮУТРЭС	надземная	Mo	Ni, P, Cu, Sr	Co, Cr, Mn, V, Ti, Zn, Pb, Ag, Ba, Sn, Be, Zr, Ga, Y
	подземная	–	Ni, Mn, P, Cu, Zn, Ag, Mo, Sr, Zr	Co, Cr, V, Ti, Pb, Ba, Sn, Be, Ga, Y
Золоотвал ВТТРЭС	надземная	–	Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr, Sn	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Zr, Ga, Y
	подземная	–	Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr, Sn	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Zr, Ga, Y

в лесостепной зоне относится к сильнонакопляемым, а в таежной – к слабонакопляемым элементам, а Sn имеет противоположную тенденцию. В надземной массе растений с золоотвала в лесостепной зоне по КБП (>10) Mo относится к группе энергичнонакопляемых элементов. Большинство изученных элементов накапливаются больше в корнях, чем в надземной массе, исключения составляют P, Mo, а на золоотвале в лесной зоне еще и Mn, Ag, Ba. Исследование показало, что задача предотвращения поступления тяжелых металлов в растения может быть решена как применением агротехнических приемов окультуривания золоотвалов (нанесение почвы, грунта, внесение органических и минеральных удобрений), так и подбором культур (разных видов многолетних трав). В связи с видоспецифичностью поглощения тяжелых металлов и разной интенсивностью накопления их в различных органах, необходимо следить, чтобы в используемой части растения не концентрировались токсические количества тяжелых металлов.

Влияние субстрата и зонально-климатических условий на накопление тяжелых металлов в различных органах, в частности в надземной массе и корнях, иллюстрируют ряды их биогенной концентрации.

Большинство из обнаруженных 19 микроэлементов накапливаются больше в корнях, чем в надземной массе. Для растений с золоотвалов обеих электростанций это Ni, Co, Cr, V, Ti, Cu, Zn, Pb, Sn, Be, Zr, Ga, Y. В надземной массе у растений с золоотвалов больше накапливаются P и Mo, а Sr примерно в равных количествах с корнями. Разница наблюдается по накоплению Mn, Ag, Ba, которые в растениях с золоотвала ВТГРЭС больше накапливаются в надземной массе, а с золоотвала ЮУГРЭС – в корнях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций, земель, нарушенных открытыми угольными разработками и другими техногенными образованиями. Была показана принципиальная возможность биологической рекультивации, отработаны принципиальные вопросы ее проведения и созданы полигоны по опытно-производственному апробированию способов ее проведения.

2. Исследования по содержанию тяжелых металлов в растениях с нарушенных промышленностью земель дают возможность оценить перспективы использования этих растений в качестве кормовых с учетом содержания в них тяжелых металлов. Знание этих особенностей позволит использовать фитомассу в качестве микроэлементных добавок к корму животных.

3. Интенсивность накопления тяжелых металлов растениями зависит, с одной стороны, от содержания их в субстратах нарушенных промышленностью земель, с другой – определяется видовыми особенностями растений. Выявление растений-концентраторов тех или иных тяжелых металлов на определенных типах техногенных образований ставит задачу разработки методов «разубоживания» субстратов т. е. снижения избыточного содержания металлов в почве за счет выноса из корнеобитаемого слоя. Кроме того, появляется возможность использования этих особенностей в фитотерапии при выращивании лекарственных растений.

4. Подбор соответствующих агротехнических мероприятий дает возможность регулирования содержания определенных тяжелых металлов в фитопродукции с учетом потребляемых органов.

5. Выявление растений-концентраторов рассеянных тяжелых металлов является предпосылкой для добычи этих металлов из фито-сырья с нарушенных промышленностью земель.

Список литературы

Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов: Указатель работ, выполненных в Уральском университете (1957–1999) / Сост. М. В. Пасынкова, М. А. Глазырина. Екатеринбург, 2000.

Глазырина М. А. Особенности формирования флоры и растительности в условиях отвалов и карьеров открытых угольных разработок (на примере Челябинского бурогоугольного бассейна): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2002.

Лукина Н. В. Особенности формирования флоры и растительности в условиях золоотвалов тепловых электростанций: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2002.

Махнев А. К., Чибрик Т. С., Трубина М. Р., Лукина Н. В. и др. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург, 2002.

Пасынкова М. В. Миграция тяжелых металлов в системе субстрат – растение на отвалах литейного производства // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ., 26–29 авг. 1996 г. Екатеринбург, 1997. С. 192–202.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях: (биологическая рекультивация). Свердловск, 1991.

Чибрик Т. С. Содержание тяжелых металлов в системе субстрат – растение на золоотвале // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ., 26–29 авг. 1996 г. Екатеринбург, 1997. С. 248–259.

Чибрик Т. С. Основы биологической рекультивации: Учеб. пособие. Екатеринбург, 2002.

Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. / Урал. гос. ун-т. Екатеринбург, 1992.

Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. / Урал. гос. ун-т. Свердловск, 1990, 1989, 1985, 1984, 1982, 1981, 1980, 1978, 1976, 1974, 1970, 1964.

Апробация полученных результатов

Результаты первого этапа исследований многократно экспонировались на ВДНХ СССР и были отмечены бронзовыми и серебряными медалями. Поскольку НИР проводились по заказу промышленных предприятий, то результаты их внедрялись при составлении проектов по биологической рекультивации и при практическом проведении работ по биологической рекультивации.

В течение последних 10 лет результаты фундаментальных исследований ежегодно экспонировались на Международной выставке «Урал-экология» и «Уралэкология. Техноген».

Результаты исследований были доложены на многих совещаниях и конференциях, в том числе на двух международных совещаниях по биологической рекультивации нарушенных земель (Екатеринбург, 1996, 2002), а также на Семинаре по анализу, методам обработки и восстановлению загрязненных вод, состоявшемся 13–15 марта 2001 г. под эгидой Европейской экономической комиссии в Париже (Франция).

Возможности внедрения полученных результатов

В результате проведенных исследований изучены разные типы земель, нарушенных предприятиями горнодобывающей отрасли (образованных при разработке рудных месторождений и на открытых угольных разрезах) и перерабатывающей промышленности (золоотвалы тепловых электростанций, шламохранилища после обогащения железной руды и руд цветных металлов).

Изучены характеристики указанных образований, дан прогноз естественного восстановления почвенного и растительного покровов, рекомендованы способы биологической рекультивации и ее возможные направления, определено содержание тяжелых металлов в системе «субстрат – растение» (качество получаемой продукции).

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и практическом проведении работ по биологической рекультивации разных типов нарушенных земель, а результаты исследований химического состава растений с промышленных отвалов – для определения возможности хозяйственного использования образующейся фитомассы.

Подготовка специалистов-экологов по основам биологической рекультивации

Полученные результаты исследований широко используются в учебном процессе. Осуществляется специализация студентов кафедры экологии по проблеме биологической рекультивации: учебно-производственная практика, выполнение курсовых и дипломных работ. В 2000 г. выполнено и защищено 8 курсовых и 2 дипломных работы, в 2002 г. – 5 курсовых и 5 дипломных работ. Ежегодно 10-20 студентов-экологов участвуют в научно-исследовательской работе по обозначенной проблеме.

Результаты исследований используются в лекционных курсах «Общая экология», «Культурфитоценология с основами биологической рекультивации», «Биогеохимия», в спецпрактикумах по почвоведению, геоботанике и др.

По результатам НИР в 2000 г. издано учебно-методическое пособие «Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов: Указатель работ, выполненных в Уральском университете (1957–1999)».

Разработана рабочая программа по курсу «Основы биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель» для студентов-экологов V курса биологического факультета. Издано учебное пособие «Основы биологической рекультивации» (2002).

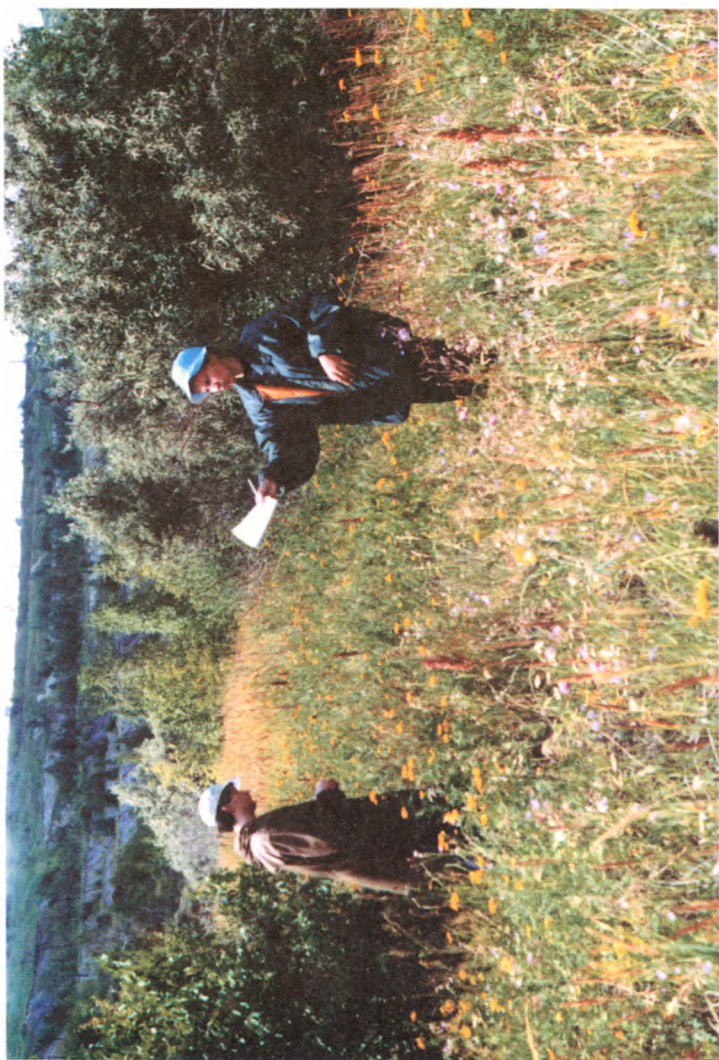
Подготовлено два специалиста высшей квалификации (кандидаты биологических наук).



Коркинский угольный разрез
(г. Коркино Челябинской обл.)



Рекультивированный участок Коркинского угольного разреза
(глубина 64 м от дневной поверхности)



Рекультивированный участок Коркинского угольного разреза
(глубина 64 м от дневной поверхности). Студенты-экологи на практике



Подсохшая поверхность золоотвала с ржавыми пятнами и солевой корочкой
(Богословская ТЭЦ, г. Красногурьинск Свердловской обл.)



Нерекультивированный золоотвал – опасная зона
для людей и животных
(Богословская ТЭЦ)



Островки растительности
на начальных этапах зарастания золоотвала
(Богословская ТЭЦ)



Лесные сообщества, формирующиеся на полосах нанесенного грунта
(золоотвал Верхнетагильской ГРЭС)



Вторично рекультивированная территория, покос.
Произведена раскорчевка деревьев и кустарников, нанесен торф,
посеяны многолетние травы (зелоотвал Верхнетагильской ГРЭС)



Щучковый луг. Возраст участка 30 лет
(золоотвал Верхнетагильской ГРЭС)

Производственно-практическое издание

Чибрик Т. С., Батурин Г. И.

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ
НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ**

Редактор и корректор
Компьютерная верстка

М. А. Овечкина
Н. В. Комариной

Лицензия ИД № 05974 от 03.10.2001. Подписано в печать 02.04.2003.

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Уч.-изд. л. 1,7. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 200 экз. Заказ **186**,

Издательство Уральского университета. 620083, Екатеринбург, пр. Ленина, 51.

Отпечатано в ИПЦ «Издательство УрГУ». 620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

